

Ghislaine Medeiros de Almeida

**Levantamento de Parâmetros Hidrogeológicos para Estudo da Intrusão
Salina em Aquíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de
Maricá - RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2007



UFRJ

Ghislaine Medeiros de Almeida

**LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS PARA
ESTUDO DA INTRUSÃO SALINA EM AQÜÍFEROS COSTEIROS DA
REGIÃO LITORÂNEA DO MUNICÍPIO DE MARICÁ - RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado
como requisito necessário para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador:

Professor Doutor Gerson Cardoso da Silva Junior

Rio de Janeiro

Março - 2007

ALMEIDA, Ghislaine Medeiros.

Levantamento de Parâmetros Hidrogeológicos para Estudo da Intrusão Salina em Aquíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de Maricá – RJ/ Ghislaine Medeiros de Almeida – Rio de Janeiro, UFRJ/IGEO, 2006.
x, 35 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Geociências – Departamento de Geologia, 2007.

Orientador: Gerson Cardoso da Sila Jr.

1. Geologia. 2. Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Gerson, Cardoso da Silva Jr, II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Levantamento de Parâmetros Hidrogeológicos para Estudo da Intrusão Salina em Aquíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de Maricá – RJ.

Ghislaine Medeiros de Almeida

LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS PARA ESTUDO DA
INTRUSÃO SALINA EM AQUÍFEROS COSTEIROS DA REGIÃO LITORÂNEA DO
MUNICÍPIO DE MARICÁ - RJ

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio de
Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de Bacharel
em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Junior

Aprovada em: 01.03.2007

Por:

Orientador: Prof. Gerson Cardoso da Silva Junior
(Dep. Geologia - IGEO - UFRJ)

Prof. José Carlos Sicoli Seoane
(Dep. Geologia - IGEO - UFRJ)

Prof. João Wagner de Alencar Castro
(Museu Nacional - UFRJ)

Agradecimentos

Aqui expresso meus agradecimentos a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram desses últimos 5 anos de minha vida, os quais dediquei a graduação em geologia, carreira a qual escolhi e me apaixonei ao longo desses anos.

Aos meus pais, Esmeraldino e Luiza, e ao meu irmão Jeferson, pelo apoio e incentivo dado ao longo desse período, pois sem eles nada disso seria possível.

Aos meus queridos amigos de faculdade, que acabaram virando irmãos amados, irmãos que escolhi e que levo para o resto de minha vida. A eles agradeço pelos risos, pelos choros, pelos abraços, pelos campos, pelas histórias mil que temos pra dividir.

Aos amigos do laboratório de Hidrogeologia, Caue Bielschowsky, Rodrigo Stutz, Ingrid Lage, Juliana Menezes, Elisa Bento, Giselle Barbosa, Alexandre Cruz, Rosemari Fabianovicz, Ana Luiza Vetorazzi, Cynthia Augusto pela companhia e descontração, cada um a sua maneira, pois isso é imprescindível. E em especial a minhas amigas de todas as horas Luana Lima e Ana Carolina Lisboa e ao amigo Vinicius Seabra pelos conhecimentos transmitidos.

Ao meu orientador Gerson Cardoso da Silva Jr. pelo conhecimento e confiança ao longo de tantos anos.

À Fundação Universitária José Bonifácio - FUJB, pelo auxílio à pesquisa através da concessão de bolsa de estudo.

Resumo

ALMEIDA, Ghislaine. **Levantamento de Parâmetros Hidrogeológicos para Estudo da Intrusão Salina em Aquíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de Maricá - RJ.** Rio de Janeiro, 2007. x, 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

A área costeira de Maricá, no litoral leste do estado do Rio de Janeiro, tem na água subterrânea sua principal fonte de abastecimento. Com a crescente demanda dos recursos hídricos subterrâneos são esperados problemas de abastecimento e contaminação, além do fenômeno da intrusão de água marinha nesses aquíferos. O recurso hídrico subterrâneo da área-alvo vem sofrendo uma degradação de sua qualidade devido ao avanço da cunha salina marinha, pelo excesso de bombeamento sem controle e também pela poluição de origem orgânica. Considerando o exposto, este estudo visa contribuir para um melhor conhecimento das características hidrogeológicas de modo a auxiliar o gerenciamento do aquífero costeiro da área estudada. A região é composta por um aquífero do tipo granular e a geologia local é constituída basicamente por depósitos de restinga, marinhos e flúvio marinhos de idade quaternária que ocupam a faixa litorânea, sobrepostos a um embasamento cristalino de profundidade variável. Além do estudo de dados hidrológicos previamente existentes na área, como resultados de antigas pesquisas dos próprios autores, dados de chuva, etc., realizou-se um levantamento de dados hidrogeológicos de campo em 41 poços, com medições de parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos (temperatura, condutividade elétrica, nível d'água, etc.). Ademais, instalou-se uma instrumentação automática para avaliação da resposta do aquífero quanto à recarga. Os resultados indicam que os níveis de salinidade do aquífero local tendem a ser mais elevados na sua porção SE, e também que, aparentemente, tem havido um aumento da salinização do aquífero nos últimos anos, o que demanda ações urgentes de gestão.

Palavras-chave: hidrogeoquímica, aquífero costeiro de Maricá-RJ, intrusão salina.

Abstract

ALMEIDA, Ghislaine. **Hydrogeological Parameters in the Study of Saline Intrusion of the Coastal Aquifers of Maricá City, RJ.** Rio de Janeiro, 2007. x, 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

The oceanic area of Maricá, in the east coast of the State of Rio de Janeiro, relies on groundwater as its main source of fresh water supply. With the increasing demand of water resources, supplying and contamination problems are predictable, besides the sea water intrusion phenomenon in these aquifers. The groundwater resource of the target area has been suffering quality degradation due to the advance of the saline wedge, the excess of pumping without control and also the pollution of organic origin. Considering this situation, the study aims at contributing to a better knowledge of the hydrogeological characteristics in order to assist the aquifer management of the coastal area under study. The region is composed of a granular aquifer and local geology is constituted basically by marine and fluvio-marine sandbar deposits of quaternary age overlying a crystalline basement of variable depth. The study comprised the evaluation of previously existing hydrological data in the area, rainfall data, etc., and a field survey in 41 wells, with measurements of hydrodynamic and physico-chemical parameters (temperature, electric conductivity, water level, etc.). Furthermore, an automatic instrumentation was installed to evaluate the response of the aquifer to recharge. Results indicate that aquifer salinity levels tend to grow up in its SE portion, and also that, apparently, there has been an increase in aquifer salinization in recent years, demanding urgent management actions.

Keyword: hydrogeochemistry, Maricá coastal aquifer, saline intrusion.

Lista de figuras

Figura 1 – Vista panorâmica do Farol de Ponta Negra, Maricá.....	3
Figura 2 – Fluxo natural de água doce em direção ao mar mantém a interface em equilíbrio (Cruz, 2006).....	5
Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo.....	7
Figura 4 – Mapa Geológico de Maricá (modificado de CPRM, DRM/ RJ, 2001).....	10
Figura 5 – Esquema do poço onde foi instalado o Levellogger.....	14
Figura 6 – Foto ilustrativa da instalação do Levellogger, com o aparelho em detalhe.....	15
Figura 7 – Medição de cloreto, utilizando o Fotômetro.....	17
Figura 8 – Mapa de localização dos pontos amostrados em 2000.....	20
Figura 9 – Mapa de localização dos pontos amostrados em 2006.....	20
Figura 10 – Mapa de isolinhas de cloreto para o ano de 2000.....	21
Figura 11 – Mapa de isolinhas de cloreto para o ano de 2006.....	21
Figura 12 – Mapa de isolinhas de condutividade elétrica para o ano de 2000.....	23
Figura 13 – Mapa de isolinhas de condutividade elétrica para o ano de 2006.....	23
Figura 14 – Diagrama de Piper para as águas subterrâneas do aquífero costeiro de Itaipuaçu no ano de 2000.....	26
Figura 15 – Diagrama de Schoeller para as águas subterrâneas do aquífero costeiro de Itaipuaçu no ano de 2000.....	26
Figura 16 – Mapa de isovalores de cloreto para toda a área.....	28
Figura 17 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica para toda a área.....	29
Figura 18 – Gráfico comparativo Nível d'água x Precipitação x Condutividade Elétrica x Temperatura da região de Maricá durante o mês de janeiro de 2007.....	31

Tabelas

Tabela 1 – Tabela de localização, e valores de condutividade elétrica e cloreto dos pontos amostrados.....19

Tabela 2 – Valores dos íons maiores para Itaipuaçu em mg/L com o indicativo do valor máximo permitido para consumo em águas subterrâneas de acordo com a Portaria 357/05 do CONAMA.....24

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vi
<i>Abstract</i>	vii
Lista de figuras	viii
Tabelas	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral	3
1.2 Objetivos Específicos	3
2 A INTRUSÃO SALINA EM AQUÍFEROS COSTEIROS	4
3 ÁREA DE ESTUDO	6
3.1 Localização da Área de Estudo	6
3.2 Caracterização geral da Área de Estudo	7
3.3 Geologia	8
3.3.1 Geologia Local	9
3.4 Geomorfologia e Pedologia	10
3.5 Clima	11
3.6 Uso e Cobertura do solo	11
3.7 Hidrogeologia	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS	12
4.1 Criação de um banco de dados	13
4.2 Levantamentos de campo	13
4.2.1 Amostragem de Água	15
4.3 Análises químicas	16
4.3.1 Concentração de Cloreto	16
4.4 Tratamento e interpretação dos dados	17
4.4.1 Banco de Dados	17
4.4.2 ARCGIS/ARCMAP	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
5.1 Análise Espaço-Temporal de Dados Hidrogeoquímicos de Itaipuaçu	19
5.2 Caracterização das Águas Subterrâneas de Itaipuaçu no Ano de 2000	24
5.3 Mapas de Isovalores	27
5.4 Monitoramento da cunha salina na planície costeira de Maricá	30
6 CONCLUSÕES	32
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da utilização da água subterrânea em regiões costeiras como fonte de abastecimento humano, percebeu-se que nestas áreas a salinidade da água variava tanto com a proximidade da linha de costa como com a profundidade dos poços e cacimbas. Com o passar do tempo, também se percebeu que com a continuidade e o aumento do bombeamento dos poços próximos à costa, a água que antes era pouco salina começava aos poucos a apresentar indícios de contaminação por água do mar. A esse processo denominou-se de “intrusão salina” (Custodio & Bruggeman, 1987).

A concentração de grandes cidades ao longo da costa brasileira e o aumento do interesse pelas áreas próximas as praias para moradia ou lazer têm levado a um acentuado estresse dos recursos naturais das regiões litorâneas. Este é o caso das águas subterrâneas que estão submetidas a grandes riscos em função de sua vulnerabilidade e principalmente devido a superexploração que vem ocorrendo em diversos locais dos aquíferos costeiros (Silva Jr. *et al.*, 2000). Faz-se então necessário o conhecimento das águas subterrâneas de uma região quando se pretende promover o seu desenvolvimento, principalmente onde os sistemas de fornecimentos habituais inexistem ou são precários. Entretanto, isso em geral não ocorre e o desconhecimento, associado à falta de controle por qualquer instituição pública, começa a provocar deterioração desse recurso (Tubbs, 1994). Em razão desse quadro desfavorável, foi iniciado no ano de 1999 o projeto ACOST-RIO (PADCTIII-FINEP: GTM 01/97-02/06), que visava um amplo estudo da situação dos aquíferos costeiros entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras.

O presente estudo foi desenvolvido na aqui designada “área oceânica” do município de Maricá (figura 1), que compreende as planícies costeiras compreendidas entre Itaipuaçu e Ponta Negra na porção litorânea daquele município. Sua finalidade foi a de elaborar e refinar os dados obtidos no projeto ACOST-RIO (já finalizado), cuja meta principal foi desenvolver uma metodologia integrada para realização de estudos hidrogeológicos em aquíferos costeiros e gerar conhecimento hidrogeológico em tão importantes porções de nosso território. Os dados do projeto ACOST-RIO ficaram defasados nesta área de estudo, motivo pelo qual a base de dados foi revisada e ampliada no presente estudo, o que ensejou a comparação dos dados com um intervalo de 6 anos.

O município de Maricá - RJ vem sofrendo um vertiginoso crescimento populacional nos últimos anos, o que resulta em um aumento da demanda de água potável subterrânea e, por conseguinte, em maior pressão sobre os aquíferos costeiros. A distribuição de água de manancial superficial na região, iniciada muito recentemente pela CEDAE, companhia estatal pertencente ao estado do Rio de Janeiro, não resultou ainda em uma melhoria significativa dessa situação. Este aquífero é, portanto, alvo de intensa exploração, principalmente durante o verão, quando ocorre um aumento temporário da população devido ao fluxo de veranistas. Ao mesmo tempo, recebe uma elevada carga de efluentes domésticos, já que esta região é quase inteiramente desprovida de sistemas de tratamento de esgotos.

A união desses dois fatores - intensa exploração e descontrole no lançamento de efluentes - contribui diretamente para a degradação da qualidade da água subterrânea da região, pelo aumento do teor de sais dissolvidos, pela carga de nitratos e fosfatos dos efluentes, de caráter cumulativo, e pela contaminação bacteriológica.



Figura 1 - Vista panorâmica da área de estudo a partir do Farol de Ponta Negra, Maricá.

1.1 Objetivo Geral

Objetivou-se a análise do problema da contaminação marinha na Região Oceânica de Maricá através do levantamento de parâmetros hidrogeoquímicos e físicos para um posterior estudo do comportamento da água subterrânea e da intrusão marinha na área-alvo.

1.2 Objetivos Específicos

Apresentar a evolução da cunha salina em área piloto levando em consideração uma análise espaço-temporal de dados hidrogeoquímicos do aquífero costeiro de Itaipuaçu - Maricá entre os anos de 2000 a 2006 e desta forma determinar as mudanças decorridas durante esse período e suas prováveis razões.

Produzir mapas de isovalores no software *ArcGIS*[®] para melhor visualização de parâmetros hidrogeológicos, além de gráficos hidrogeoquímicos para caracterização das águas do aquífero.

Monitorar a cunha salina da região através de um medidor automático de nível d'água, condutividade elétrica e temperatura (*Levellogger*[®]).

Finalmente, apresentar todas as informações a fim de contribuir para um melhor conhecimento das características hidrogeológicas de modo a subsidiar o gerenciamento dos aquíferos da área estudada.

2 A INTRUSÃO SALINA EM AQUÍFEROS COSTEIROS

Existem várias formas da salinização atingir as águas originalmente doces de um aquífero: avanço da cunha salina marinha por bombeamento, propagação vertical por bombeamento proveniente de um aquífero salinizado, infiltração de água salinizada de estuários e mangues, água conata salinizada, elevação do cone de salinização.

O avanço da cunha salina, propriamente chamada de intrusão marinha, ocorre quando a cunha de água salgada do mar avança ou se mistura com as águas doces do aquífero (Cruz, 2006).

Na situação natural, antes de iniciar o bombeamento existe, um gradiente hidráulico no aquífero, que induz um fluxo de água doce em direção ao mar. Este fluxo natural de água doce mantém a cunha salina numa posição de equilíbrio (figura 2).

Quando é realizado um bombeamento excessivo das águas doces, o equilíbrio se rompe e ocorre o avanço da cunha.

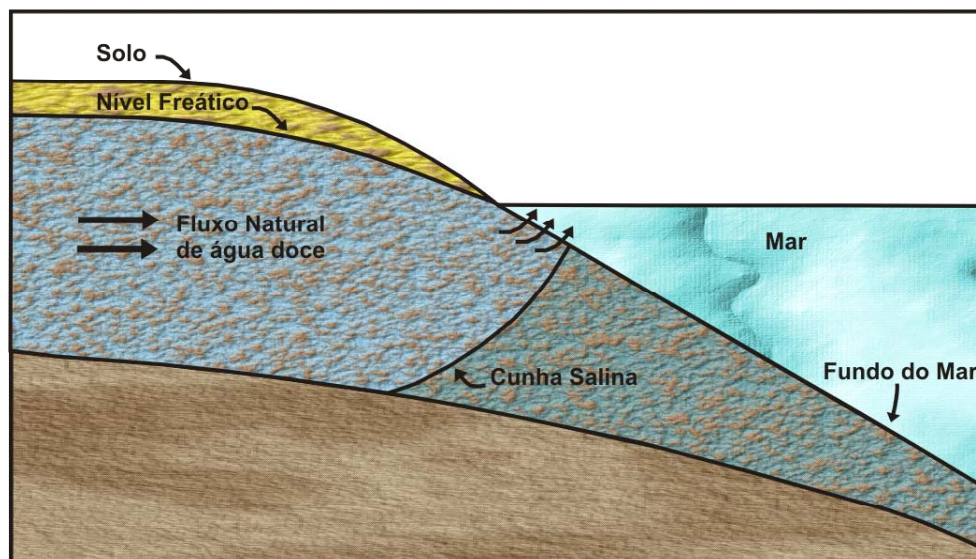


Figura 2- Fluxo natural de água doce em direção ao mar mantém a interface em equilíbrio (Cruz, 2006).

As águas do mar e das lagunas hidraulicamente conectadas com o oceano infiltram-se pelo subsolo e caminham em direção ao continente. O lençol de água doce, menos denso que a água salgada, flutua por sobre a água salina delimitando uma superfície, muitas vezes difusa chamada zona de mescla. O estudo da forma, posicionamento e variação temporal desta interface são de extrema importância para preservação das águas subterrâneas.

No contato entre as águas doce e salgada pode haver alguma mistura, principalmente pela dispersão de escala micro e macroscópica. Neste caso, a água salgada é carregada de volta pelo fluxo de água doce subterrânea de volta para o mar. Assim, para que haja o balanço de sal na zona de interface, ocorre uma pequena entrada do fluxo de água salgada para dentro do aquífero de água doce. Esta entrada produz uma perda de carga ao

longo da zona de mescla e a diminuição da profundidade teórica para uma interface entre líquidos imiscíveis.

A mensuração das propriedades físico-químicas das águas subterrâneas em aquíferos sujeitos ao fenômeno da intrusão marinha é de grande valia na interpretação fenomenológica deste tipo de corpo hídrico, auxiliando na avaliação da dinâmica da intrusão e de sua intensidade, tendo sido utilizada em todo o mundo nesse tipo de estudos (Appelo & Postma, 2005).

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo compreende a extensão da faixa litorânea do município de Maricá (figura 3), no estado do Rio de Janeiro. Esta faixa litorânea possui aproximadamente 28 km de extensão, dividindo-se naturalmente em cordões arenosos, áreas de inundação temporária, margens de lagoas, planícies fluviais e encostas de maciços cristalinos vizinhos. A zona costeira é o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre marcada pela fragilidade ambiental dos diversos ambientes ali existentes (manguezais, dunas, restingas, estuários, lagoas etc.).

O principal acesso à região a partir da capital fluminense é realizado através da BR-101 Norte e posteriormente a RJ-106 (Rodovia Amaral Peixoto).

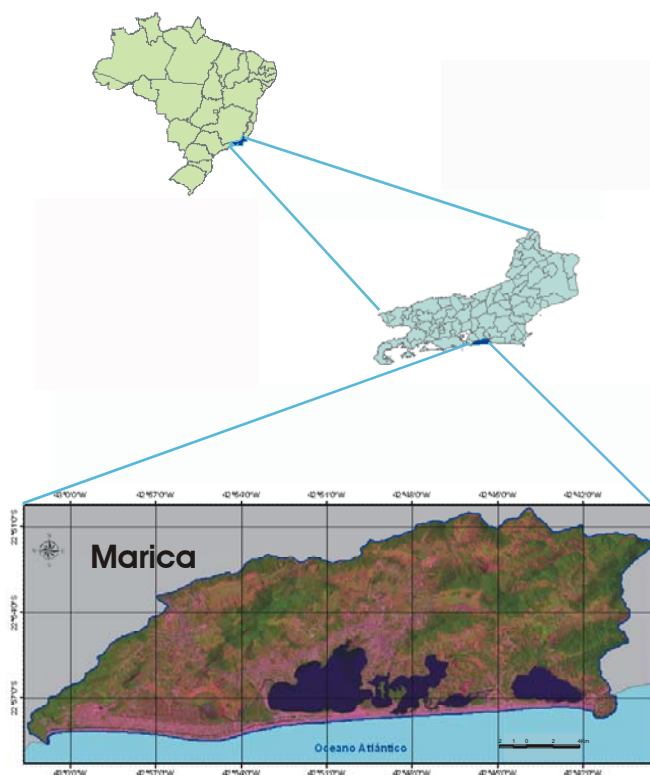


Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.

3.2 Caracterização geral da Área de Estudo

Essa área dispõe de escasso abastecimento de água tratada, ficando por conta de cada proprietário o suprimento de água para a sua habitação. Em decorrência deste fato, quase a totalidade dos moradores abastece suas residências utilizando a água subterrânea. Vale lembrar que a área não é dotada de rede de tratamento de esgoto sanitário, utilizando-se de fossas e sumidouros.

O município de Maricá caracteriza-se pela presença de sistemas lagunares, alguns deles hipersalinos, que têm grande importância no esculpimento das feições morfológicas locais e conseqüentemente influenciando seus aquíferos freáticos.

3.3 Geologia

O litoral situado à oeste da ponta de Cabo Frio sofre uma brusca inflexão possuindo um alinhamento leste-oeste e é denominado litoral dos Cordões Litorâneos (Muehe, 1998). Em termos estruturais o litoral dos Cordões Litorâneos faz parte de um complexo geológico composto predominantemente por rochas graníticas e gnáissicas formando um conjunto cristalino com denominações diversas, representado na paisagem por maciços costeiros.

Durante períodos de alternâncias entre climas secos e úmidos, e de avanços e recuos do nível do mar, ocorreu a deposição de uma gama muito variável de sedimentos. A ascensão do nível dos mares, influenciada pelo degelo das calotas polares, marca a Transgressão Flandriana (14.000 a 7.000 anos A.P.) que, no seu clímax, deu origem à formação da Baía de Guanabara e outras enseadas ao longo do litoral fluminense (Alves, 2000).

A partir do recuo erosivo das escarpas cristalinas formaram-se, na base dos maciços, planícies costeiras quaternárias compartimentadas pelos blocos estruturais e arcos de praia subdivididos por afloramentos cristalinos na linha de costa. A formação das planícies costeiras se deu através do retrabalhamento de sedimentos, disponibilizados pela erosão do cristalino, durante períodos de transgressões e regressões marinhas (Muehe, 1998). Observa-se a formação de cordões litorâneos associados aos últimos máximos transgressivos do Pleistoceno e do Holoceno.

À retaguarda dos arcos de praia foram formados complexos lagunares com tendência de aumento de espelho d'água em direção a leste, em função do gradual afastamento das áreas montanhosas da linha de costa (Muehe & Carvalho, 1989). Desta forma, em termos regionais o litoral dos Cordões Litorâneos apresenta duas unidades

geológicas principais. A primeira composta por rochas cristalinas onde se observam as maiores elevações e a segunda unidade de base sedimentar formando planícies costeiras que apresentam tendência de aumento na direção leste, formando no contato oceano-continente, extensos arcos de praia. Destaca-se a presença de depósitos lagunares, depósitos flúvio-lagunares, depósitos praias marinhos e depósitos eólicos em toda a faixa litorânea da área de estudo.

3.3.1 Geologia Local

A geologia da área-alvo (figura 4) é constituída basicamente por sedimentos litorâneos e paludais de idade quaternária, que ocupam a faixa litorânea bordejando irregularmente lagoas e lagunas da região.

Esses depósitos são constituídos principalmente de areias quartzosas litorâneas de coloração esbranquiçada, por vezes amareladas, razoavelmente selecionadas com matriz siltica a argilosa nas paleopraias (áreas de cordões de praia primitivas), granulometria variando de média à grossa, com grãos variando de subangulares a arredondados, geralmente se associando com presença de feldspato ou minerais máficos.

Esta unidade apresenta seus contatos bem definidos com as rochas aflorantes do pré-cambriano: biotita-gnaiss porfiroblasto da Unidade Cassorotiba e gnaiss facoidal.

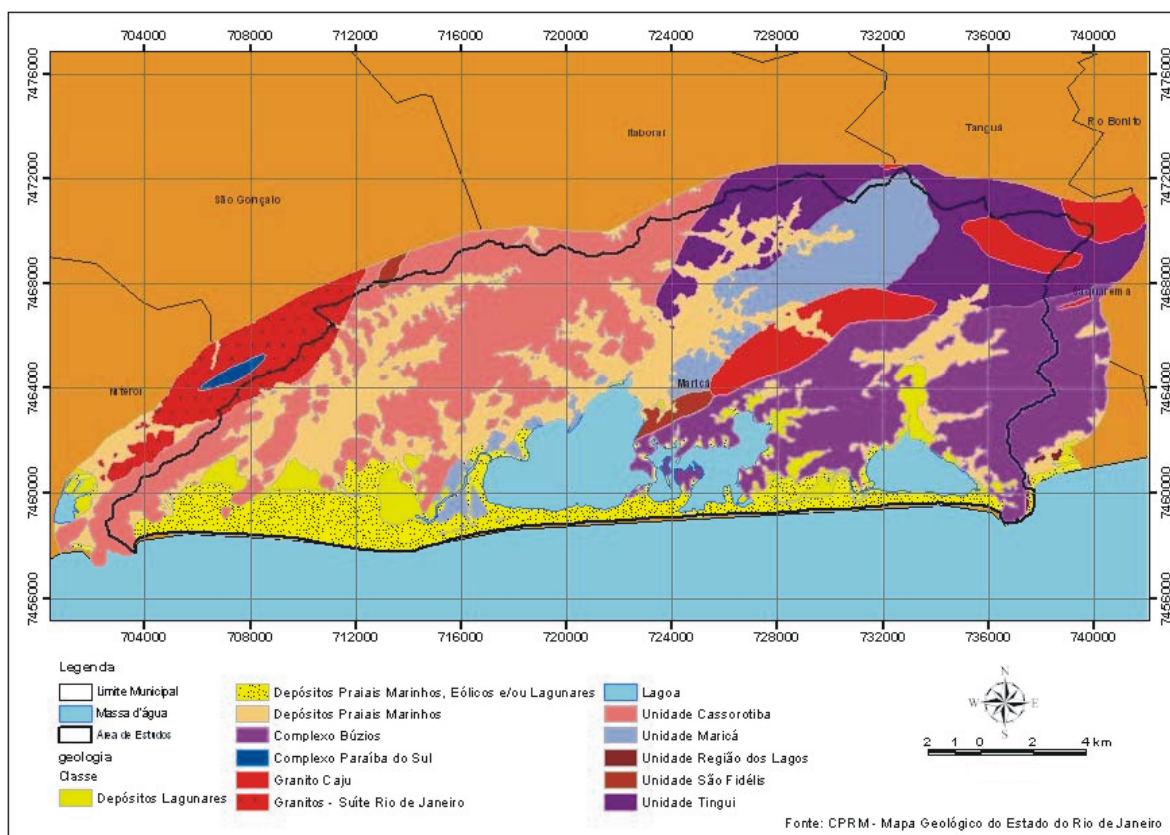


Figura 4 - Mapa Geológico de Maricá (modificado de Silva et al, 2001)

3.4 Geomorfologia e Pedologia

As feições geomorfológicas presentes na área, segundo o Mapeamento Geomorfológico do Rio de Janeiro, realizado pela CPRM, foram: Colinas Isoladas, Maciços Costeiros e Interiores, Planícies Costeiras, Planícies Flúvio-Lagunares e Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas.

Os solos mais presentes na região são os argissolos, os gleissolos (húmicos distróficos e húmicos salinos solódicos) e os espodosolos. Aparecem ainda com significativa relevância os neossolos flúvicos eutróficos e afloramentos de rocha.

3.5 Clima

De uma maneira geral, o clima na região é predominantemente quente e úmido, com estação seca pouco pronunciada e com mais de 1.300 mm anuais de precipitação (CIDE, 1997). Na Baixada Litorânea ocorre clima quente e úmido sem inverno pronunciado, com chuvas no verão e estiagem no inverno, possui temperaturas médias regularmente elevadas e suas variações são pequenas, oscilando entre 22 e 23 °C. A partir de novembro até março as temperaturas médias ficam acima de 22 °C com valores máximos de 25,3 °C. A umidade relativa do ar varia de 80 a 90 % devido à influência da maritimidade (Cruz, 2006).

Os ventos possuem direções variadas: NE (estável), S/SE (frente fria) e N/NW (chuvas de verão).

3.6 Uso e Cobertura do solo

Na área mais próxima a linha de costa há restingas que compreendem ambientes diferenciados, tais como: mangues, brejos, dunas, além de lagoas temporárias e permanentes. A vegetação que se desenvolve ao longo desses cordões arenosos apresenta-se nas formas arbórea, arbustiva e herbácea. Há também coberturas arenosas, que compreendem as praias e dunas (Cruz, 2006).

A mata atlântica que cobria aproximadamente 85% do Município de Maricá encontra-se atualmente com aproximadamente 40%, localizada praticamente nas Serras: da Tiririca, Itaitindiba, do Macaco, Camburi, da Sapucaia, do Caju, Cassorotiba, do Calaboca e do Lagarto.

3.7 Hidrogeologia

Os aquíferos observados na área são do tipo granular. O aquífero granular compreende depósitos aluvionares heterogêneos e porções de solo e rocha alterada. Os sedimentos aluvionares são compostos predominantemente por areias quartzosas e, subordinadamente, siltosas e argilosas, que ocorrem nas proximidades das lagoas. Estes são decorrentes da formação da baixada litorânea durante os últimos movimentos de transgressão e regressão no Holoceno, entre 5.000 e 7.000 anos atrás. A baixada litorânea é formada por variações laterais, paralelas à linha de costa, de altos arenosos com vegetação rasteira, típica de restinga e baixada alagadiças areno-argilosas, que compõem os charcos e mangues da região. O nível d'água é geralmente raso, com profundidades de alguns centímetros até uns poucos metros. Na área dos areais, que corresponde aos locais mais rasos, a água é geralmente menos salobra que a água das baixadas alagadiças (Cruz & Silva Jr., 2006).

Outras problemáticas consideradas relevantes dizem respeito à notória diminuição das áreas florestadas e das áreas de restinga, diminuição do espelho d'água das lagoas, ocupação em áreas de brejo e as alterações do regime hídrico dos rios e canais da área em estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Por ser uma região pouco estudada pelo já citado projeto ACOST-RIO, foram realizadas três campanhas de campo para complementar e promover o levantamento de dados hidrogeológicos. Nessas campanhas foram cadastrados 41 pontos d'água de onde

foram coletadas amostras de água subterrânea para análise de parâmetros hidroquímicos e medidos dados potenciométricos, quando possível. Durante a execução do trabalho foi instalado um medidor automático da variação do nível d'água em poço tubular (*Levellogger*). Serão descritas a seguir as etapas utilizadas na realização deste trabalho.

4.1 Criação de um banco de dados

A partir dos dados do projeto ACOST-RIO, que se concentram na área de Itaipuaçu, foi realizado um banco de dados para uma melhor compreensão e avaliação do comportamento dos aquíferos costeiros da região. Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica de todos os trabalhos produzidos pelo projeto ACOST-RIO relacionados com a área de interesse desse estudo. Todos os dados foram reunidos numa planilha Excel, incluindo os novos dados.

4.2 Levantamentos de campo

As campanhas de campo tiveram como objetivos a complementação dos dados, sendo possível avaliar as principais características hidrogeológicas da região; identificar e cadastrar novos pontos de amostragem de águas subterrânea e coletar água desses pontos para a medição de parâmetros físico-químicos *in situ* e posteriormente em laboratório uma medição de cloreto.

Para o monitoramento da cunha salina na planície costeira de Maricá foi utilizado um aparelho de medição de nível d'água, condutividade elétrica e de temperatura

(*Levellogger*) durante os meses de dezembro de 2006 a fevereiro de 2007. Com os dados já em laboratório, foi possível realizar uma análise comparativa com os dados pluviométricos obtidos neste mesmo período.

A escolha do local para a instalação de um medidor automático da variação do nível d'água em poços tubulares (*Levellogger*) foi baseada em dois fatores essenciais. Em primeiro lugar a segurança do aparelho por motivos econômicos e o segundo motivo por representatividade hidrogeoquímica da localidade. Com o local definido foi realizada a construção de um poço tubular com trado manual, este foi finalizado a uma profundidade de 8 metros, no local encontrou-se o N.A. a uma profundidade de 6,5 metros (figura 5).

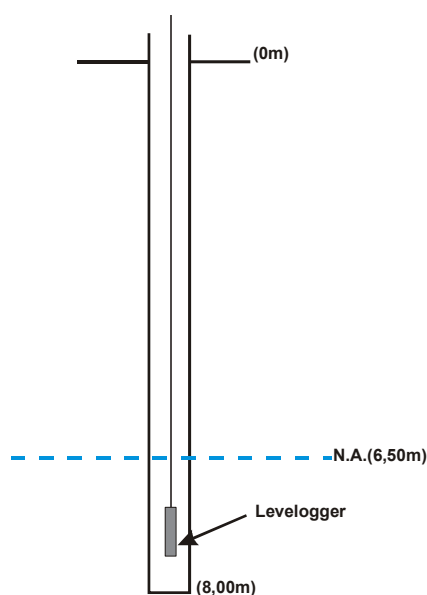


Figura 5 - Esquema do poço onde foi instalado o Levellogger.

O *Levellogger*, antes de sua instalação, foi ajustado com a inserção de alguns dados como periodicidade da leitura, dia e hora para o início e o término da leitura. No presente trabalho ele foi instalado no dia 21 de dezembro de 2006 e programado para a coleta dos

dados a cada trinta minutos. Foram coletadas 2.443 dados de nível d'água, condutividade elétrica e temperatura até o dia 10 de fevereiro de 2007 (Figura 6).

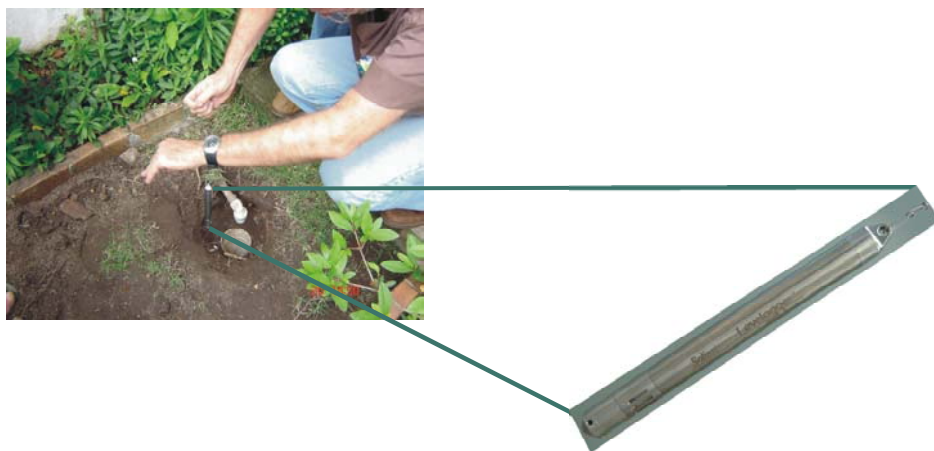


Figura 6: Foto ilustrativa da instalação do Levelogger, com o aparelho em detalhe.

Por se tratar de uma área com características de veraneio, as dificuldades de acesso aos poços foram diversas, razão pela qual foram cadastrados apenas 41 poços rasos. Os pontos foram georeferenciados com o uso de GPS, em coordenadas UTM-SAD 69 fuso 23S.

Cabe ressaltar que as medidas não consideraram o efeito das marés.

4.2.1 Amostragem de Água

Em todas as etapas de cadastramento dos pontos foram realizadas medições *in situ* das águas coletadas. Foram medidas condutividade elétrica, pH, temperatura e, quando possível, profundidade do nível estático das águas dos pontos visitados.

As medições de condutividade elétrica *in situ* foram obtidas com o aparelho digital da marca ANALION[®], modelo C 702. Fez-se necessário o ajuste do condutivímetro com

uma solução padrão de 1,41 $\mu\text{S}/\text{cm}$ antes de serem realizadas as medidas. O pH das amostras de água foi obtido através do pH - metro digital da marca QUIMIS[®] modelo Q-400BC/BD. A temperatura das águas tem que ser obtida o mais rápido possível após a retirada da amostra do poço. As medidas de temperatura das águas dos poços coletadas em campo foram realizadas com um termômetro digital da ANALION[®].

4.3 Análises químicas

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Hidrogeologia, do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental do Departamento de Geologia da UFRJ a análise da concentração de cloretos na totalidade amostras, enquanto que no Laboratório de Análise Minerais da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (LAMIN/CPRM) foram realizadas análises químicas completa apenas para as amostras do projeto ACOST, com coleta datada do ano de 2000.

4.3.1 Concentração de Cloreto

As amostras coletadas em campo foram devidamente embaladas e transportadas em caixas de isopor para o Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ e mantidas em refrigeração até o momento da medição do íon cloreto. Tal medição foi realizada pela autora com a utilização do aparelho fotômetro da marca CHEMetrics[®] modelo V-2000 (figura 7).



Figura 7 - Medição de cloreto, utilizando o Fotômetro.

4.4 Tratamento e interpretação dos dados

4.4.1 Banco de Dados

Elaborou-se um Banco de Dados, no programa Microsoft-Excel, com todos os resultados gerados com os levantamentos preliminares, levantamentos de campo e análises laboratoriais. A partir deste momento, verificaram-se os principais parâmetros para o estudo e compreensão da intrusão salina nos aquíferos costeiros, assim como a necessidade de complementação de novos dados. Este banco de dados contém todas as informações obtidas, como dados de campo, parâmetros físico-químicos, localização geográfica, entre outros. Os dados das análises químicas completas foram exportados para o *software AquaChem[®]* (*Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting*, versão 3.0, da *Waterloo*

Hydrogeologic) para elaboração de gráficos e diagramas para fins de caracterização hidrogeoquímica da área de estudo.

Esta etapa consistiu na transformação das planilhas do Microsoft Excel para um formato de texto (.txt), pois o *software AquaChem* só permite a importação de dados nesta extensão. Dentro do programa geraram-se inúmeros gráficos que ajudaram na classificação e interpretação das águas subterrâneas do município de Maricá.

4.4.2 ARCGIS/ARCMAP

Os dados foram exportados para o *software ArcGis/ArcMap 8.3®*, para uma melhor visualização espacial dos resultados. Foi possível assim gerar mapas de isovalores de cloreto e condutividade elétrica na análise dos resultados. Em seguida foram realizadas as representações gráficas, processamento e elaboração dos resultados e interpretações conseqüentes, que deram origem às discussões e conclusões apresentadas ao fim do trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados alcançados neste trabalho permitem uma caracterização geral da área estudada, bem como em áreas com maior nível de detalhe como é o caso de Itaipuaçu.

Os resultados estão estruturados da seguinte maneira: inicialmente apresentam-se os dados e interpretações de uma análise espaço-temporal na região de Itaipuaçu com a comparação de mapas de isovalores de cloreto e condutividade elétrica entre o ano 2000 e

2006; após isso, é feita uma breve caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas de Itaipuaçu para o ano de 2000; em seguida são exibidos os mapas temáticos de isovalores de cloreto e condutividade elétrica de toda a área para caracterização de sua água subterrânea; e em uma última etapa é realizada a interpretação do monitoramento da cunha salina na planície costeira de Maricá.

5.1 Análise Espaço-Temporal de Dados Hidrogeoquímicos de Itaipuaçu

Nesta etapa do trabalho foram comparados 9 pontos do ano de 2000, obtidos pelo projeto ACOST-RIO, com 12 pontos coletados, pela autora, no ano de 2006 na área piloto de Itaipuaçu (Tabela 1 e figuras 8 e 9).

Tabela 1- Tabela de localização, e valores de condutividade elétrica e cloreto dos pontos amostrados.

Ponto	N	E	[CE] 10 -6 in situ	Cl(mg/l)
2000				
ITA-32	7460582	708944	960	199
ITA-34	7459444	708920	71	13,34
ITA-35	7458366	708992	310	46,3
ITA-36	7458941	709019	>2000	17284
ITA-39	7458950	707450	262	28,21
ITA-43	7458979	705331	229	28,37
ITA-45	7459929	708930	118	20,22
ITA-54	7458870	711694	114	19,04
2006				
ITA1	7458922	705458	471	22
ITA2	7487732	707541	510	41
ITA3	7458752	709018	591	42
ITA4	7458453	710583	411	44
ITA5	7458693	711781	119	22
ITA6	7459436	708924	135	23
ITA7	7460070	709041	405	70
ITA8	7459738	706948	225	20
ITA9	7460015	706810	218	25
ITA10	7458769	7048803	512	45
ITA11	7458822	706280	358	32
ITA12	7458610	709055	318	40

Para tal avaliação foram confeccionados mapas de isolinhas de condutividade elétrica e cloreto para 2000 e 2006 (figuras 10 a 13).

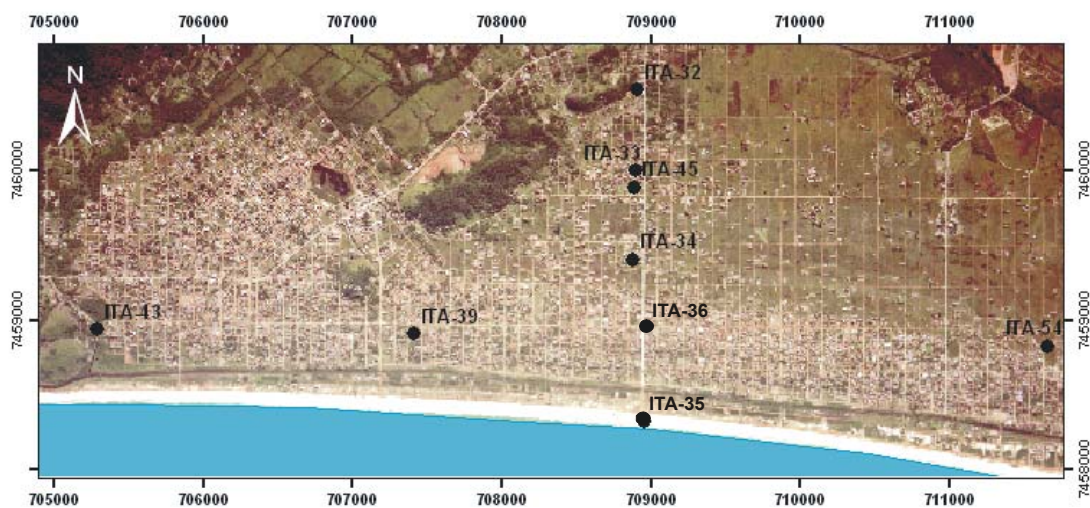


Figura 8 - Mapa de localização dos pontos amostrados em setembro de 2000.



Figura 9 - Mapa de localização dos pontos amostrados em abril de 2006.

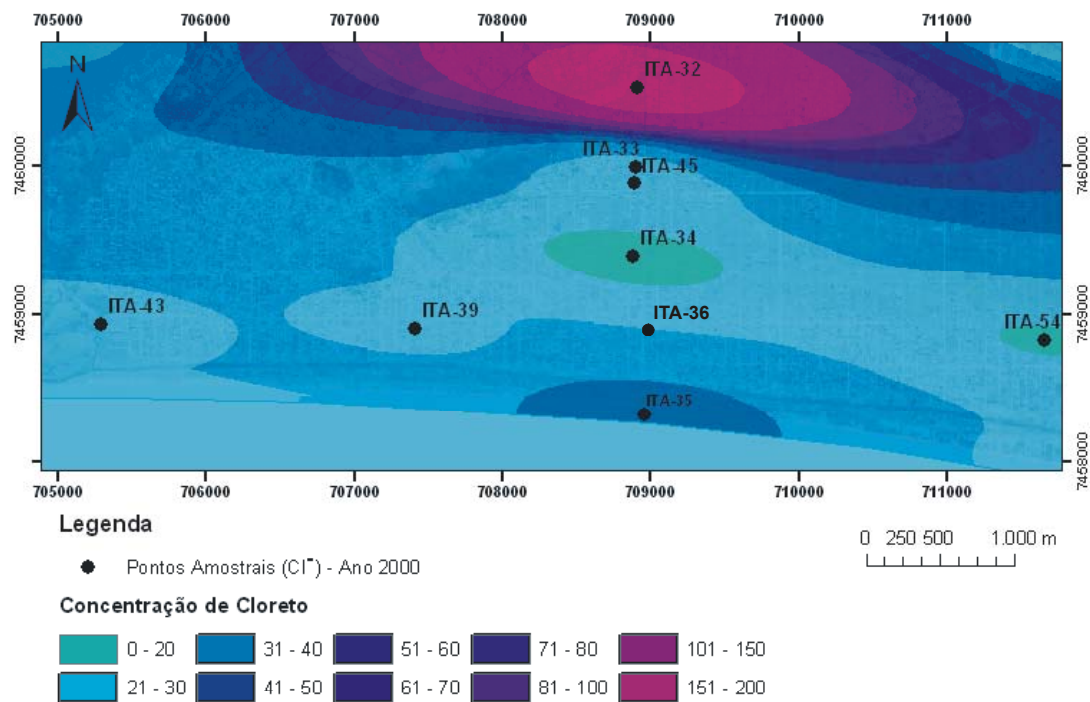


Figura 10 - Mapa de isolinhas de cloreto para o ano de 2000.

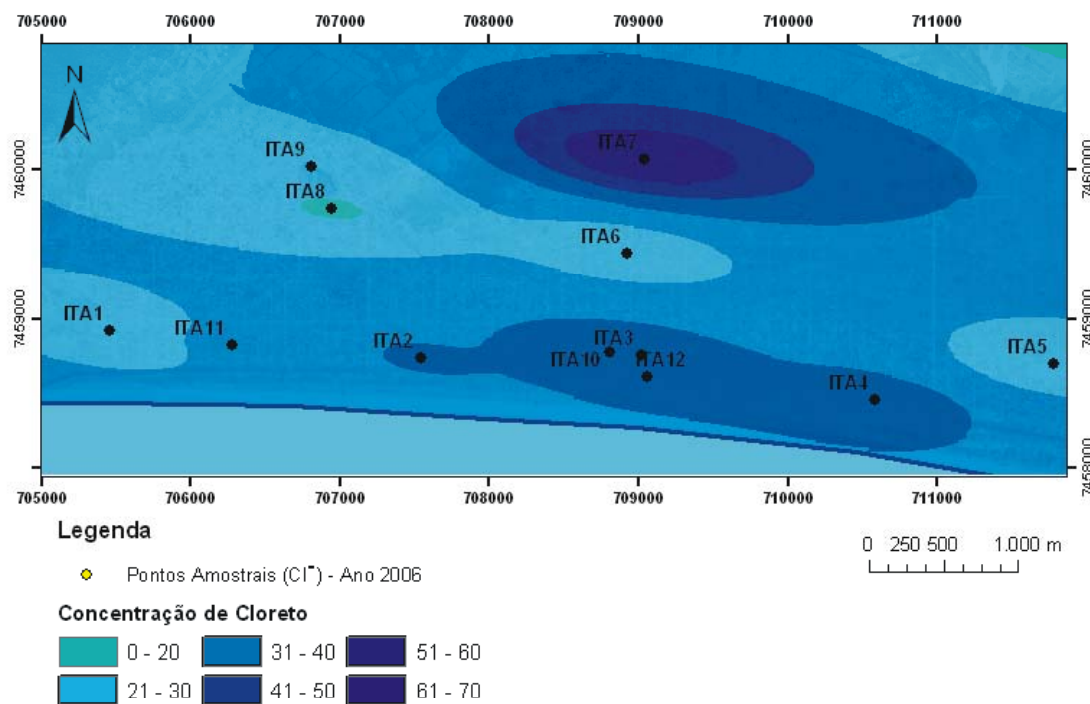


Figura 11- Mapa de isolinhas de cloreto para o ano de 2006.

As análises químicas para o íon cloreto do ano de 2000 indicaram indícios de intrusão salina possivelmente ocasionados por poço de amostragem muito profundo ou ainda por paleoáguas.

Análises realizadas no ano de 2006, quando a água subterrânea está sendo menos utilizada (início da distribuição da água pela CEDAE), indicaram uma diminuição pontual (ITA32/ITA7) na intrusão salina, mas de forma geral, esta apresenta um suave aumento na porção E da região mais próxima ao mar.

Tal diminuição pode ter ocorrido devido às épocas das coletas, já que em 2000 a amostragem foi realizada no verão, período de “alta estação”, onde há maior nº de veranistas, e conseqüentemente maior taxa de bombeamento nos aquíferos locais. Vale ressaltar que tal diminuição ocorre muito localmente, o que pode ser interpretado como uma diminuição pontual no valor de cloreto e não como um efetivo recuo da cunha salina, já que de maneira mais geral o que vem ocorrendo é justamente o contrário.

Os mapas de condutividade elétrica confirmam a suspeita de que há um efetivo avanço da cunha salina na região, principalmente na porção E do mapa. Confirmando que os períodos diferenciados das coletas para os dois anos exerceram alguma influência no resultado, assim como o fato de que para o ano de 2000 a amostragem na porção E, que é a mais afetada, foi maior. Mas ainda sim o aumento dos valores de condutividade elétrica na região ocorreu de maneira significativa.

Para a confecção desses mapas (isolinhas de cloreto e condutividade elétrica) do ano de 2000, optou-se por não incluir o valor do ponto ITA36, já que este apresenta valores muito maiores do que os demais pontos e sua inclusão no mapa poderia influenciar desproporcionalmente o resultado (figuras 10 e 12).

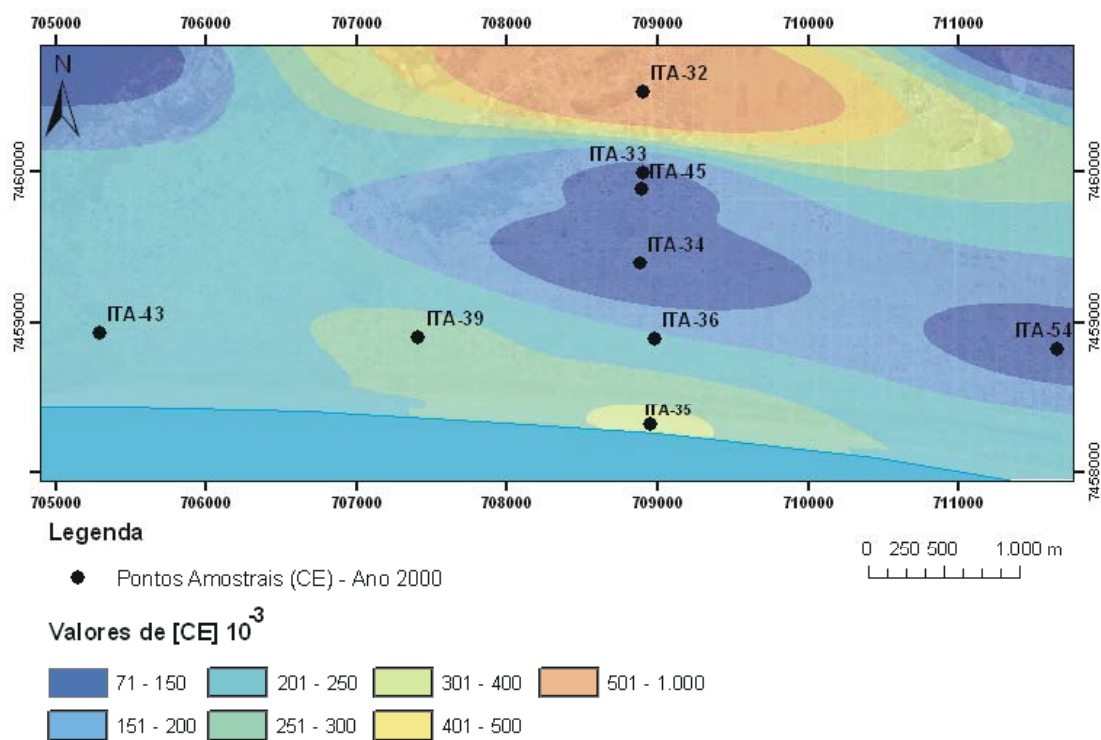


Figura 12 - Mapa de isolinhas de condutividade elétrica para o ano de 2000.

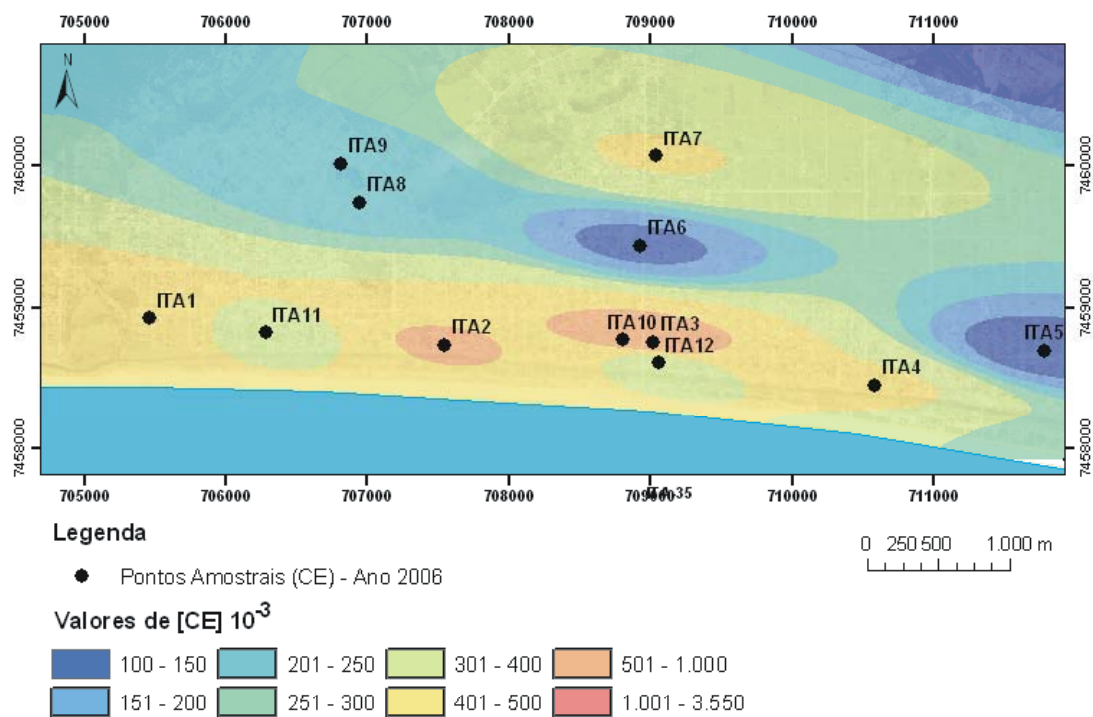


Figura 13 - Mapa de isolinhas de condutividade elétrica para o ano de 2006.

5.2 Caracterização das Águas Subterrâneas de Itaipuaçu no Ano de 2000

Os dados obtidos laboratorialmente foram inseridos no *software AquaChem* para a caracterização hidrogeoquímica. Os resultados obtidos se encontram na tabela 2 e nas figuras 14 e 15.

Tabela 2 - Valores dos íons maiores para Itaipuaçu em mg/L com o indicativo do valor máximo permitido para consumo em águas subterrâneas de acordo com a Portaria 357/05 do CONAMA.

Ponto	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²
ITA-32	5,21	16,13	127	3,5	199	25,2	0,1	44,3
ITA-33	3,96	1,73	14,4	2,1	27,24	15,3	0,1	1,8
ITA-34	1,03	0,89	6,7	1	13,34	8,3	0,1	0,1
ITA-35	5,8	2,37	35,1	9,9	46,3	14,7	8,2	23,5
ITA-36	393,9	1276	9590	400	17284	132,1	0,1	239,1
ITA-39	16,86	3,03	17,2	9,7	28,21	8,9	42,1	15,3
ITA-43	7,8	2,66	20,4	6	28,37	1,9	4,2	35,2
ITA-45	3,87	1,43	12,54	1,28	20,22	19,2	1,4	0,4
ITA-54	0,85	1,81	13,02	2,58	19,04	6,4	0,1	8,2
Valores Máximos	100	40	150	10	250	350	10	250

A comparação dos ânions indicou, conforme esperado, a predominância do íon cloreto (Cl⁻) sobre o íon sulfato (SO₄⁻²) e sobre o íon bicarbonato (HCO₃⁻). Essa característica é muito comum em áreas costeiras onde a influência do mar e da lagoa é significativa. Por ser um íon conservativo, o íon cloreto é um excelente traçador de contaminação marinha nas águas subterrâneas em áreas costeiras. O cloreto, em geral, é muito solúvel e muito estável em solução, logo dificilmente precipita-se. Não oxida e nem se reduz em águas naturais. Em águas naturais continentais o cloreto se encontra com valores entre 10 mg/L e 250 mg/L. Nas águas subterrâneas da área de estudo foi encontrada apenas uma amostra acima desse limite.

Para o ânion nitrato (NO_3^-) normalmente os teores encontrados nas águas naturais são baixos, no entanto foi encontrado em um dos pontos amostrado um valor bem acima do esperado para águas doces, porém ainda dentro do limite estabelecido pelo CONAMA. Esse alto valor de nitrato pode ser indicativo de contaminação por atividades antrópicas (esgoto, fossas sépticas, depósitos de lixo, resíduo animal, etc).

Os demais ânions maiores das águas subterrâneas apresentaram valores dentro dos limites observados em águas doces.

Do ponto de vista catiônico, o sódio (Na^+) é o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais em áreas costeiras, estando normalmente associado ao cloreto. Das águas subterrâneas analisadas, uma única amostra apresentou um valor acima de 150 mg/L.

Os demais cátions das águas subterrâneas apresentaram valores dentro dos limites observados em águas doces, com exceção da amostra ITA36, que pode ser considerada como uma amostra anômala, quando comparada com as demais.

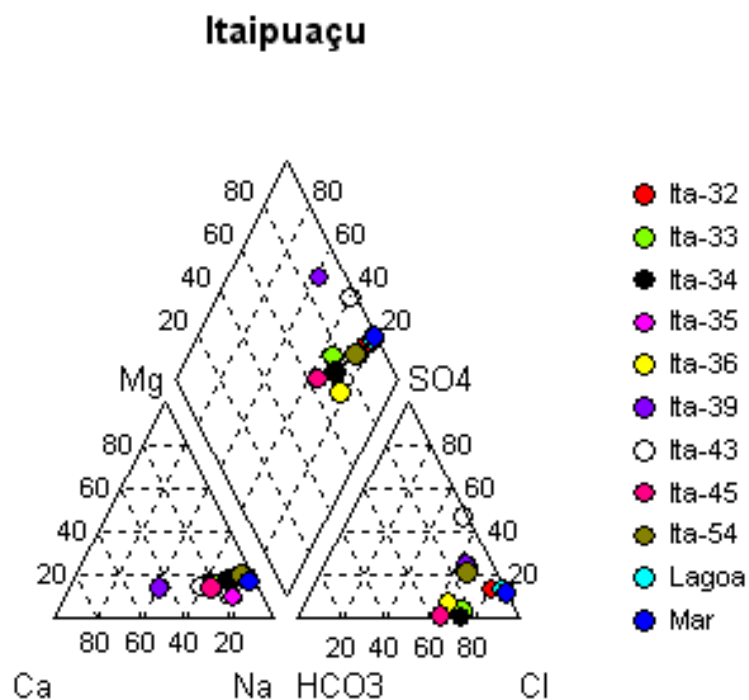


Figura 14 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas do aquífero costeiro de Itaipuaçu no ano de 2000.

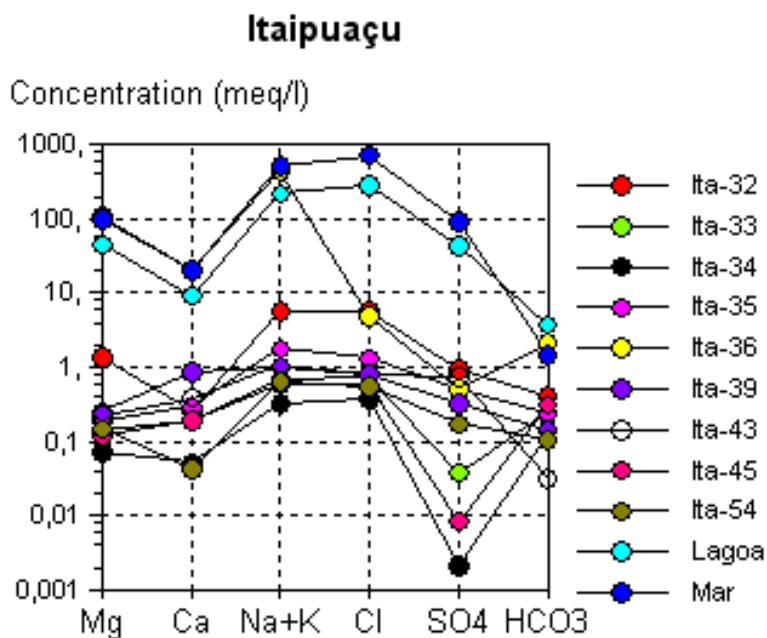


Figura 15 - Diagrama de Schoeller para as águas subterrâneas do aquífero costeiro de Itaipuaçu no ano de 2000.

O estudo dessas análises químicas, junto com as informações dos diagramas de Piper e Schoeller para as águas subterrâneas do aquífero de Itaipuaçu (figuras 14 e 15) possibilita a interpretação de que as águas da região são do tipo cloretadas-sódicas e apresentam o padrão típico de águas evoluindo de caráter mais doce, continental, para águas salinizadas, ajudando a corroborar a hipótese de intrusão marinha.

5.3 Mapas de Isovalores

Através dos resultados obtidos pelas análises químicas foi possível delimitar áreas de isovalores de cloreto e condutividade elétrica em toda a área estudada (figura 16 e 17).

Nestes mapas, verificou-se a contaminação pelo avanço da cunha salina, variando seu grau de acordo com a proximidade do mar e das lagoas, observando-se o perigo de salinização dos aquíferos locais em curto/médio prazo, mantidas as projeções de aumento de consumo.

Os resultados do trabalho indicam que a concentração de sal na água geralmente varia com a proximidade da linha de costa. Nota-se também que a porção SE da área é a mais afetada com o efeito da salinidade, o que pode ocorrer devido a uma maior proximidade das lagoas. Apesar de também informar sobre tal impacto, o mapa de isovalores de condutividade elétrica ficou mais "suavizado" devido a perda dos valores para tal parâmetro em 12 dos pontos amostrados, referentes à última campanha de campo.

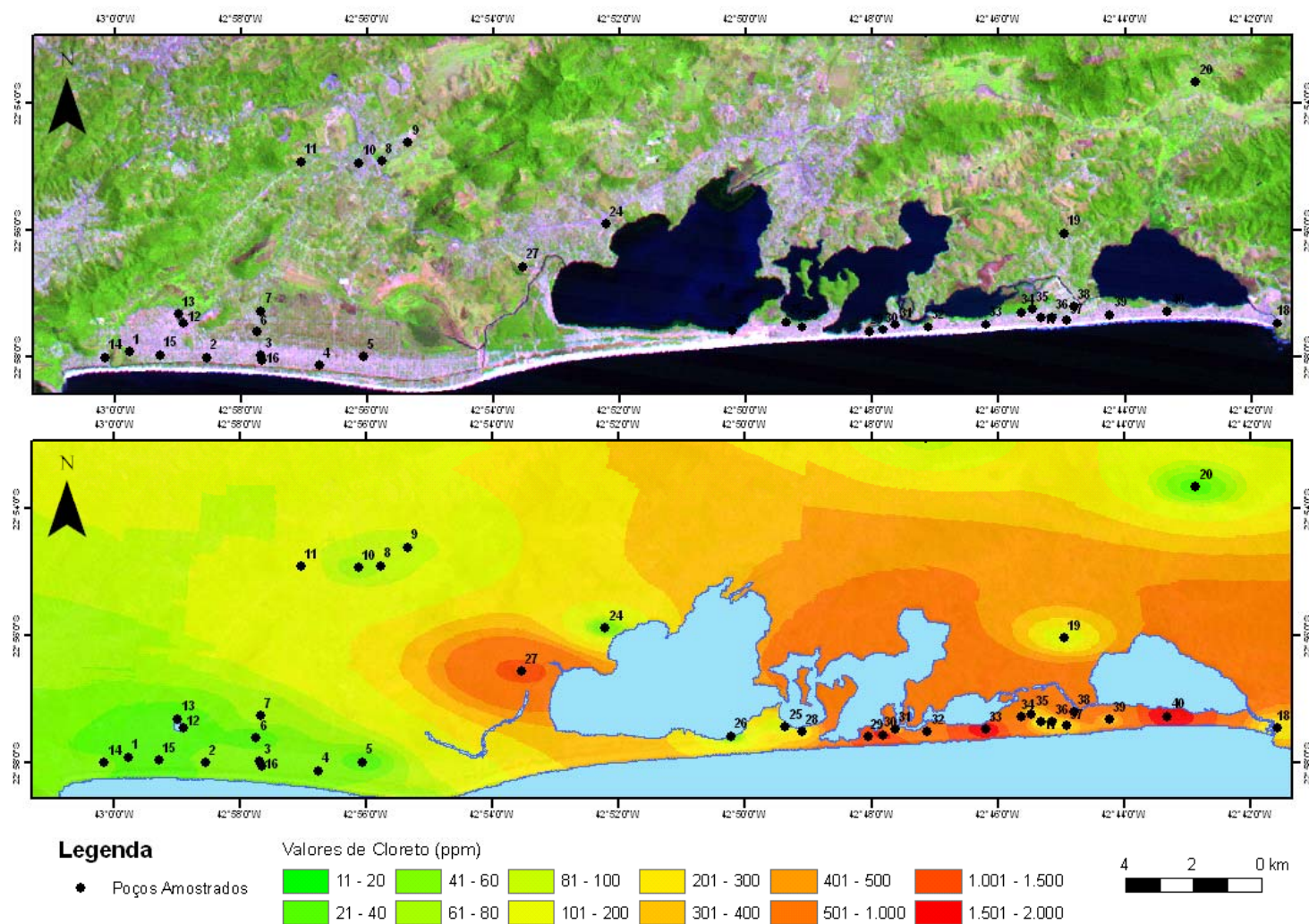


Figura 16- Mapa de isovalores de cloreto para toda a área.

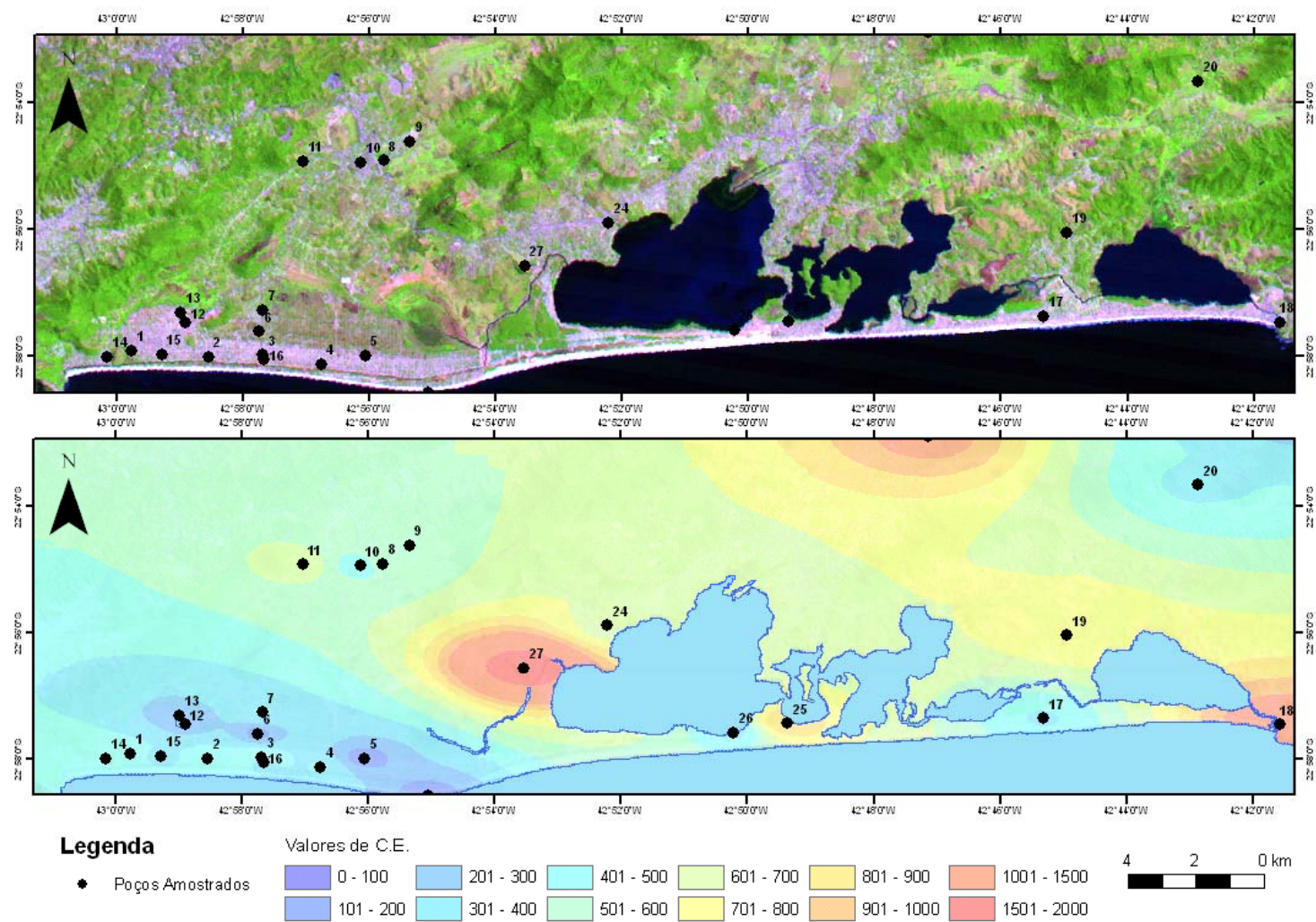


Figura 17 - Mapa de isovalores de condutividade elétrica para toda a área.

5.4 Monitoramento da cunha salina na planície costeira de Maricá

A oscilação do nível d'água em Maricá foi verificada com a instalação do medidor de nível d'água, condutividade elétrica e temperatura eletrônico (*Levellogger*) durante os meses de dezembro de 2006 a fevereiro de 2007. A partir de dados pluviométricos foi possível verificar a rápida ascensão do nível da água subterrânea (figura 18). Para uma melhor visualização dos dados obtidos optou-se por trabalhar apenas com o intervalo de 3 de janeiro de 2007 a 31 de janeiro de 2007. Cabe ressaltar também que se fez necessário trabalhar com diferentes escalas para representar os quatro parâmetros estudados em um único gráfico, a fim de obtermos uma melhor visualização dos resultados. Os valores de N.A. presentes na tabela são referentes à coluna d'água sobre o aparelho (*Levellogger*).

Através dos dados de nível d'água (N.A.) vs chuva (P) foi possível notar que após um período de precipitação, em pouco tempo havia uma resposta do aquífero freático da planície costeira de Maricá. Esse comportamento deve-se principalmente as características físicas do aquífero que é constituído por material arenoso com poucos finos, permitindo uma rápida percolação da água de chuva. A resposta dada através dos dados de condutividade elétrica (C.E.) vs chuva a grosso modo, nos fornece a idéia de que após um período chuvoso o valor da C.E. aumenta, o que provavelmente ocorre devido ao fenômeno do spray marinho, que acaba por ser lixiviado, lavado junto com a chuva, percolando de forma mais intensa no solo, aumentando assim a quantidade de íons nas águas do aquífero. Os dados de temperatura vs chuva mostram que o aquífero sofre a influência das estações do ano, no caso estudado nota-se uma elevação de temperatura na água ao longo do mês de janeiro de 2007.

O exposto anteriormente no gráfico mostra que o aquífero costeiro de Maricá apresenta rápida resposta aos fatores sazonais e climáticos, denotando alta vulnerabilidade, porém também rápida recarga e logo alto poder de diluição.

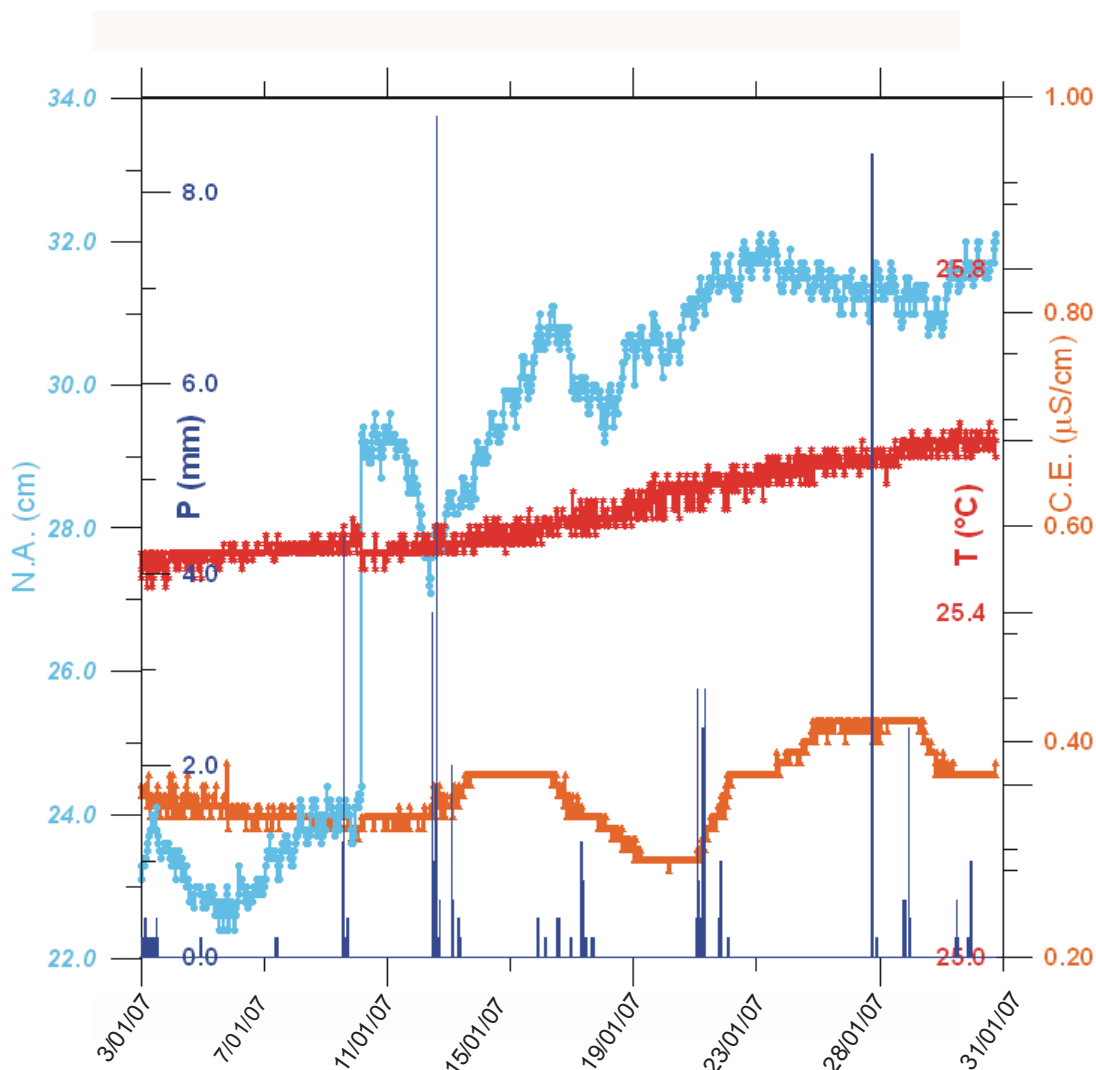


Figura 18 - Gráfico comparativo Nível d'água x Precipitação x Condutividade Elétrica x Temperatura da região de Maricá durante o mês de janeiro de 2007.

6 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o estudo aplicado à área demonstrou resultados satisfatórios, porém são apenas o início de um gerenciamento mais detalhado desse aquífero.

A água subterrânea da região foi classificada como cloretada-sódica. Quando comparados os dados dos anos de 2000 e 2006 nota-se um avanço da cunha salina ao serem analisados os parâmetros cloreto e condutividade elétrica, cujos valores evidenciam um aumento de sais na água.

Obtivemos valores de cloreto variando de 11 a 2000 ppm e valores de condutividade elétrica de 119 a $1.119 \mu\text{S}/\text{cm } 10^{-3}$, com distribuição indicando que a concentração de sal na água geralmente varia com a proximidade da linha de costa. Notou-se também que a porção SE da área é a mais afetada com o efeito da salinidade, o que pode ser ocasionado devido a uma maior proximidade das lagoas.

O monitoramento do nível d'água na planície costeira de Maricá nos mostrou que esse aquífero costeiro apresenta rápida resposta aos fatores sazonais e climáticos, o que denota alta vulnerabilidade, porém também rápida recarga e logo alto poder de diluição.

A falta de conscientização dos usuários e gestores pode ter comprometido esse recurso natural por muito tempo. Esse estudo mostrou um possível aumento do problema e mesmo um avanço da intrusão salina. O desconhecimento do recurso hídrico da região, associado à falta de controle por qualquer instituição pública, acaba por provocar a deterioração desse recurso.

Tal problema pode ser amenizado caso ocorra na região uma efetiva distribuição de água de origem superficial da CEDAE, diminuindo assim o consumo dessas águas

subterrâneas. Cabe salientar que os moradores da região apresentam certa resistência em adotar o uso exclusivo de água de origem superficial, dificultando assim uma melhora efetiva nas águas do aquífero local.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. G., 2000. Diagnóstico ambiental da Região Oceânica de Niterói e Distrito de Inoã - Maricá (RJ): uma visão por geoprocessamento e mapeamento geológico-geotécnico. Tese de Doutorado, Depto. de Geologia – Instituto de Geociências/UFRJ.
- APPELO , C. A. J. e POSTMA, D. 2005. Geochemistry, Groundwater and Pollution. A . A Balkema. Rotterdam, Brookfield. 2nd Ed. 728 p.
- CIDE. 2000. Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro. Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- CONAMA. 2005. – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 257/05 de janeiro de 2005. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama. Acesso em 15 de dezembro de 2006.
- CPRM/LABHID-UFPE. 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza - CE. Coordenadores: Feitosa, F. A. C.; Manuel Filho, J. 412p.
- CRUZ, A., 2006. Aplicação de Modelagem Hidrogeoquímica na Avaliação de Processos de Salinização de Aquíferos no Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação

de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 116p.

CRUZ, Alexandre ; SILVA JÚNIOR, G. C. 2006. Spatial and temporal hydrochemical behavior of Piratininga coastal aquifer, Niterói City, Brazil. In: 19th Salt Water Intrusion Meeting, 2006, Cagliari, Itália. Proceedings of the 19th SWIM. Cagliari : U. Cagliari, 2006. v. 1. p. 12-18.

CUSTODIO,E. & BRUGGEMAN,G.A. 1987. Groundwater Problems in Coastal Areas – Imprimerie Bietlot Freres. Fleres, Belgique – ISBN 92-3-102415-9 – Unesco, 596p.

DRM 1981. RJ Projeto Carta Geológica, Bloco Baía de Guanabara, vol. 1 e 4, Niterói, Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Relatório Final.

MUEHE, D. 1998. O litoral brasileiro e sua compartimentação. Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. organizadores. Geomorfologia do Brasil. Capítulo 7. Editora Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro, RJ.

MUEHE, D. & CARVALHO, V. G. 1989. Morfologia e distribuição dos sedimentos na plataforma continental interna entre Saquarema e Cabo Frio. 1º Simpósio sobre Oceanografia. Resumos. p. 87-58. São Paulo, SP.

SILVA JÚNIOR, G.C.; LOWSBY, M.; SOUZA, M. G. 2000. A problemática da intrusão marinha nos aquíferos costeiros do leste Fluminense: um estudo de caso – a Região Oceânica de Niterói. In: Cong. Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. Fortaleza - CE.

SILVA, L. C.; SANTOS, R. A.; DELGADO, I. M.; CUNHA, H. C. C. 2001. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. CPRM, DRM/ RJ. Escala: 1:400.000.

TUBBS, D. 1994. Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade das águas subterrâneas da região litorânea do município de Niterói – RJ – Dissertação de Mestrado. IA/DG – UFRRJ.